

8448 / 10.07.2003

- 1 -

Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung der Ist-Position  
einer Struktur eines Untersuchungsobjektes

Technisches Gebiet:

- 5 Die Erfindung bezieht sich auf Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung der Ist-Position einer Struktur eines Untersuchungsobjektes in einem Koordinatensystem.

Stand der Technik:

- 10 Computer-Tomographen dienen zur Erstellung von dreidimensionalen Bildern, nämlich so genannten CT-Bildern, von Objekten, z.B. Werkstücken oder menschlichen Körpern oder Körperteilen, wobei diese Bilder auch innere Strukturen des Objektes zeigen.
- 15 In der Computer-Tomographie-Technik, abgekürzt CT-Technik, werden mit Hilfe von Röntgenstrahlen Aufnahmen eines Objekts oder eines Teils desselben aus vielen verschiedenen Richtungen hergestellt, d.h. das Objekt wird nacheinander aus vielen verschiedenen Richtungen durchleuchtet. Ein Computer-Tomograph, im Folgenden mit CT abgekürzt, verfügt daher über eine Röntgenquelle und einen
- 20 zweidimensional ortsauflösenden Detektor, z.B. CCD-Matrix, welcher für die von der Röntgenquelle abgegebene Strahlung empfindlich ist. Die Röntgenquelle gibt Strahlung von typischerweise z.B. 450 keV ab. Zwischen Röntgenquelle und Detektor wird das Objekt angeordnet und schrittweise gegenüber der Röntgenquelle bzw. dem Schirm gedreht, oder es wird umgekehrt der CT
- 25 schrittweise um das Objekt gedreht, welches in diesem Fall in Ruhe bleibt.

- In den Fällen, in welchen nicht der CT, sondern das Objekt gedreht wird, verfügt der CT in der Regel über einen Objektträgertisch, auf welchem das Objekt angeordnet ist. Der Objektträgertisch ist so verfahrbar, daß sich das Objekt in den
- 30 Strahlengang der Röntgenstrahlung einbringen läßt. Ferner ist der Objektträgertisch rotierbar, so daß das Objekt zur Erstellung des CT-Bildes gedreht werden kann. Typischerweise wird das Objekt z.B. in Schritten von je 0,9° gedreht, so daß 400 Rotationsschritte eine volle Umdrehung des Objektes

6448 / 10.07.2003

- 2 -

ergeben. Auf diese Weise ist der CT imstande, ein bestimmtes Volumen, welches entweder das gesamte Objekt oder einen Teil desselben enthält, zu erfassen

Für jede der so durchlaufenen Rotationsstellungen des Objektes wird mit dem  
5 Detektor ein zweidimensionales Durchstrahlungs-Röntgenbild des Objektes aufgenommen. Auf diesen zweidimensionalen Bildern erscheint das Objekt größer als es in Wirklichkeit ist, da seine Größe auf dem Bild einer zentrischen Projektion des Objektes auf die Detektorfläche entspricht, wobei die Röntgenquelle das Projektionszentrum ist.

10

Aus der so gewonnenen Vielzahl von zweidimensionalen Einzelbildern wird mit Hilfe eines Computers rechnerisch ein dreidimensionales digitales Bild des vom CT erfaßten Volumens, d.h. des Objekts oder eines Teils desselben, erstellt, welches auch vollständig im Objekt eingeschlossene innere Strukturen desselben  
15 zeigt, sofern diese einen gegenüber ihrer Umgebung abweichenden Absorptionskoeffizienten für die eingestrahlte Röntgenstrahlung aufweisen, was z.B. für Hohlräume, wie etwa Bohrungen, der Fall ist.

Nach jeder vollen Umdrehung des Objekts kann der Objektträger mit dem Objekt  
20 um eine bestimmte Strecke translatorisch verschoben und der oben erläuterte Vorgang erneut durchgeführt werden.

Ein derartiger handelsüblicher CT ist z.B. in dem Prospekt "RayScan 3D-X-Ray-Computed Tomography", PRO-RS-A-E000 11/01, der Firma Hans Wälischmiller  
25 GmbH, D-88677 Markdorf, beschrieben.

Mit derartigen Computer-Tomographen können innere Strukturen von Objekten untersucht werden, z.B. Bohrungen in Werkstücken. Um auf diese Weise eine Struktur des Objektes zu untersuchen, kann zunächst ein CT-Bild des ganzen  
30 Objektes einschließlich der interessierenden Struktur erstellt werden.

Nachteilig hierbei ist, dass das Bild der Struktur in der Regel nur einen kleinen Teil des Bildfeldes des CT einnimmt, da die mit dem CT erreichbare relative räumliche

6448 / 10.07.2003

- 3 -

Auflösung begrenzt ist. Dies ist insbesondere auf den endlichen Durchmesser der Austrittspupille der Röntg nquelle und auf die begrenzte Zahl der Pixel der CCD-Matrix zurückzuführen; typisch wird eine relative laterale Auflösung von z.B. 1:4000 erreicht.

5

Eine Struktur des Objektes, deren Ausdehnung z.B. 1% der Objektgröße beträgt, wird daher in diesem Fall nur mit einer relativen Auflösung von 1:40 abgebildet, was in den meisten Fällen für eine detaillierte Vermessung der Struktur unzureichend ist.

10

Daher kann das CT-Bild des Objektes dazu herangezogen werden, um den Ort der Struktur innerhalb des Objektes in Bezug auf das Koordinatensystem des CT zu ermitteln und eine zweite Computer-Tomographie des Objektes durchzuführen und dabei den CT so zu steuern, dass nur die nähere Umgebung der Struktur von dem CT erfaßt wird und von dieser Umgebung ein zweites CT-Bild, mit erhöhtem Vergrößerungsfaktor, erstellt wird. Hierdurch wird die relative Auflösung des Bildes der Struktur gesteigert, d.h. es werden mehr Details der Struktur sichtbar.

15

Auch hiermit sind jedoch Nachteile verbunden. Beispielsweise ist es aufwendig, den Ort innerhalb des Objektes aus dem ersten CT-Bild zu bestimmen. Darüber hinaus ist eine derartige Lokalisierung der Struktur ungenau, da nicht nur die Struktur selbst, sondern auch die Oberfläche des Objektes nur mit der begrenzten Auflösung des CT erfaßt werden, wodurch sich die entsprechenden Meßunsicherheiten vergrößern.

20

25

Ferner wird zur Erstellung des zweiten CT-Bildes zusätzliche Zeit benötigt. Dieser zusätzliche Zeitaufwand stellt angesichts der sehr hohen Betriebskosten eines CT einen erheblichen Kostenfaktor bei der Vermessung der Struktur dar.

30

Darüber hinaus wird das Objekt zur Erstellung des zweiten CT-Bildes erneut mit einer bestimmten Dosis an ionisierender Strahlung beaufschlagt. Dies ist insbesondere dann nachteilig bzw. problematisch, wenn das Objekt aus lebender biologischer Materie besteht. Auch auf tote Materie kann die erneute

6448 / 10.07.2003

- 4 -

Strahlenbelastung nachteilig einwirken. Ionisierende Strahlung kann beispielsweise Alterung, Umwandlung, Verfärbung oder Zersetzung von Kunststoffen auslösen, auf Kristallstrukturen verändernd einwirken oder elektronische Bausteine zerstören.

5

Technische Aufgabe:

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung anzugeben, welche eine Lokalisierung und Untersuchung einer Struktur eines Objektes mit verringertem Zeitaufwand, erhöhter Genauigkeit und

10 reduzierter Strahlenbelastung des Objektes ermöglichen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur Bestimmung der Ist-Position einer Struktur eines Untersuchungsobjektes in einem Koordinatensystem, wobei ein Computer-Tomograph in Anwendung der CT-

15 Technik mit einem auf den Computer-Tomographen bezogenen ersten Koordinatensystem, CT-Koordinatensystem, und ein Koordinatenmeßgerät, welches entweder ein taktils oder optisches Koordinatenmeßgerät oder ein Multisensor-Koordinatenmeßgerät oder ein Ultraschall-Koordinatenmeßgerät ist, mit einem auf dieses bezogenen zweiten Koordinatensystem, MG-Koordinatensystem,

20 verwendet werden, wobei

- a) im MG-Koordinatensystem die Koordinaten des Untersuchungsobjekts bestimmt werden,
- b) eine Soll-Position der Struktur innerhalb des Untersuchungsobjektes vorgegeben wird,
- 25 c) die Soll-Position nach Ausführung der Schritte a) und b) im MG-Koordinatensystem bestimmt wird,
- d) und das Untersuchungsobjekt unter Verwendung des Ergebnisses von Schritt c) so positioniert wird, dass die Soll-Position der Struktur innerhalb des vom Computer-Tomographen erfassten Volumens zu liegen kommt.

30

Die Aufgabe wird des Weiteren gelöst durch ein Verfahren zur Bestimmung der Ist-Position einer Struktur eines Untersuchungsobjektes in einem Koordinatensystem, wobei ein Computer-Tomograph in Anwendung der CT-

6448 / 10.07.2003

- 5 -

- Technik mit einem auf den Computer-Tomographen bezogenen ersten Koordinatensystem, CT-Koordinatensystem, und ein Koordinatenmeßgerät, welches entweder ein taktiler oder optischer Koordinatenmeßgerät oder ein Multisensor-Koordinatenmeßgerät oder ein Ultraschall-Koordinatenmeßgerät ist, mit einem auf
- 5 dieses bezogenen zweiten Koordinatensystem, MG-Koordinatensystem, verwendet werden, wobei
- a) im CT-Koordinatensystem die Koordinaten des Untersuchungsobjekts bestimmt werden,
  - b) eine Soll-Position der Struktur innerhalb des Untersuchungsobjektes (1)
  - 10 vorgegeben wird,
  - c) die Soll-Position nach Ausführung der Schritte a) und b) im CT-Koordinatensystem bestimmt wird,
  - d) und das Untersuchungsobjekt unter Verwendung des Ergebnisses von Schritt c) so positioniert wird, dass die Soll-Position der Struktur innerhalb
  - 15 des vom Koordinatenmeßgerät erfassbaren Bereichs zu liegen kommt.

- Die Aufgabe wird ferner gelöst durch eine Vorrichtung zur Bestimmung der Ist-Position einer Struktur eines Untersuchungsobjektes in einem Koordinatensystem, mit einem Computer-Tomograph mit einem auf den Computer-Tomographen
- 20 bezogenen ersten Koordinatensystem, CT-Koordinatensystem, und einem Koordinatenmeßgerät, welches entweder ein taktiler oder optischer Koordinatenmeßgerät oder ein Multisensor-Koordinatenmeßgerät oder ein Ultraschall-Koordinatenmeßgerät ist, mit einem auf dieses bezogenen zweiten Koordinatensystem, MG-Koordinatensystem, verwendet werden, wobei im MG-
- 25 Koordinatensystem die Koordinaten des Untersuchungsobjekts bestimmbar sind und eine Soll-Position der Struktur innerhalb des Untersuchungsobjektes vorgegeben ist, so dass die Soll-Position im MG-Koordinatensystem bestimmbar ist und das Untersuchungsobjekt so positionierbar ist, dass die Soll-Position der Struktur innerhalb des vom Computer-Tomographen erfassten Volumens zu
- 30 liegen kommt, wobei der Computer-Tomograph und das Multisensor-Koordinatenmeßgerät zu einer einzigen Vorrichtung integriert sind.

6448 / 10.07.2003

- 6 -

Das erste Koordinatensystem ist also das CT-Koordinatensystem, welches auf den Computer-Tomographen bezogen ist. Das zweite Koordinatensystem ist das MG-Koordinatensystem; dieses ist auf das Koordinatenmeßgerät bezogen.

- 5 Bei den erfindungsgemäßen Verfahren zur Bestimmung der Ist-Position einer Struktur eines Untersuchungsobjektes in einem Koordinatensystem werden also ein Computer-Tomograph mit einem auf diesen bezogenen ersten Koordinatensystem, CT-Koordinatensystem, und ein Koordinatenmeßgerät, welches entweder ein taktils oder optisches Koordinatenmeßgerät oder ein
- 10 Multisensor-Koordinatenmeßgerät oder ein Ultraschall-Koordinatenmeßgerät ist, mit einem auf dieses bezogenen zweiten Koordinatensystem, MG-Koordinatensystem, verwendet.

- Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Bestimmung der Ist-Position und der
- 15 Form einer Struktur eines Untersuchungsobjektes in einem Koordinatensystem umfaßt einen Computer-Tomographen mit einem auf diesen bezogenen ersten Koordinatensystem, CT-Koordinatensystem, und ein Koordinatenmeßgerät, welches entweder ein taktils oder optisches Koordinatenmeßgerät oder ein Multisensor-Koordinatenmeßgerät oder ein Ultraschall-Koordinatenmeßgerät ist,
- 20 mit einem auf dieses bezogenen zweiten Koordinatensystem, MG-Koordinatensystem.

- Gemäß einer Variante des Verfahrens wird bei in Bezug auf mindestens drei ausgewählte nicht kollineare Punkte des Untersuchungsobjekts vorgegebener
- 25 Soll-Position der Struktur das Untersuchungsobjekt mit Hilfe des Koordinatenmeßgerätes so positioniert, dass mindestens ein Teil des Untersuchungsobjekts in dem vom Computer-Tomographen erfaßten Volumen liegt und dieser Teil des Untersuchungsobjekts die Soll-Position der Struktur enthält.

30

Gemäß einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist daher bei in Bezug auf mindestens drei ausgewählte nicht kollineare Punkte des Untersuchungsobjekts vorgegebener Soll-Position der Struktur das

6448 / 10.07.2003

- 7 -

Untersuchungsobjekt mit Hilfe des Koordinatenmeßgerätes so positionierbar, dass mindestens ein Teil des Untersuchungsobjekts in dem vom Computer-Tomographen erfaßten Volumen liegt und dieser Teil des Untersuchungsobjekts die Soll-Position der Struktur enthält.

5

Die ausgewählten Punkte können sich insbesondere auf der Oberfläche des Untersuchungsobjekts befinden. Die ausgewählten Punkte können markiert werden, beispielsweise mittels Farbe, um ihre Erfassung im MG-Koordinatensystem zu erleichtern. Eine andere Möglichkeit besteht darin, als  
10 ausgewählte Punkte solche zu verwenden, welche auf Grund der Geometrie bzw. der Gestalt des Untersuchungsobjekts ausgezeichnet sind, z.B. Eckpunkte.

In einer Variante des Verfahrens wird bei vorgegebener maximaler Abweichung der Soll-Position von der Ist-Position der Struktur des Untersuchungsobjekts  
15 dasselbe mit Hilfe des Koordinatenmeßgerätes so positioniert, dass sowohl die Soll-Position als auch die Ist-Position der Struktur in dem vom Computer-Tomographen erfaßten Volumen liegen.

Gemäß einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist daher bei  
20 vorgegebener maximaler Abweichung der Soll-Position von der Ist-Position der Struktur des Untersuchungsobjekts dasselbe mit Hilfe des Koordinatenmeßgerätes so positionierbar, dass sowohl die Soll-Position als auch die Ist-Position der Struktur in dem vom Computer-Tomographen erfaßten Volumen liegen.

25 Die Ist-Position der Struktur kann z.B. infolge von Fertigungstoleranzen von der Soll-Position abweichen. In der Praxis ist es oftmals möglich, die maximal zu erwartende oder mögliche Abweichung Ist-Position von der Soll-Position der Struktur anzugeben.

30 Gemäß einer Variante des Verfahrens ist die Ist-Position um höchstens eine vorgegebene Toleranzabweichung von der Soll-Position verschieden, so dass sich die Ist-Position innerhalb eines Toleranzvolumens befindet, dessen Rand um höchstens die Toleranzabweichung von der Soll-Position entfernt ist, wobei das

6448 / 10.07.2003

- 8 -

Untersuchungsobjekt mit Hilfe des Koordinatenmeßgerätes so positioniert wird, dass das Toleranzvolumen vollständig in dem vom Computer-Tomographen erfaßten Volumen liegt.

- 5 In einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist die Ist-Position um höchstens eine vorgegebene Toleranzabweichung von der Soll-Position verschieden, so dass sich die Ist-Position innerhalb eines Toleranzvolumens befindet, dessen Rand um höchstens die Toleranzabweichung von der Soll-Position entfernt ist, wobei das Untersuchungsobjekt mit Hilfe des
- 10 Koordinatenmeßgerätes so positionierbar ist, dass das Toleranzvolumen vollständig in dem vom Computer-Tomographen erfaßten Volumen liegt.

- Insbesondere kann das Toleranzvolumen eine Kugel, Toleranzkugel, sein, deren Mittelpunkt mit der Soll-Positionen zusammenfällt und deren Radius durch den
- 15 Betrag der maximalen Abweichung der Soll-Position von der Ist-Position der Struktur vorgegeben ist.

- Gemäß einer Variante des Verfahrens wird das Untersuchungsobjekt mit Hilfe des Koordinatenmeßgerätes so positioniert, dass das vom Computer-Tomographen
- 20 erfaßte Volumen höchstens den x-fachen Rauminhalt der Toleranzkugel bzw. des Toleranzvolumens besitzt, wobei x eine vorgebbare Zahl vorzugsweise größer als 1 ist.

- In einer Variante der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist das Untersuchungsobjekt
- 25 mit Hilfe des Koordinatenmeßgerätes so positionierbar, dass das vom Computer-Tomographen erfaßte Volumen höchstens den x-fachen Rauminhalt der Toleranzkugel bzw. des Toleranzvolumens besitzt, wobei x eine vorgebbare Zahl vorzugsweise größer als 1 ist.

- 30 Beispielsweise kann das Untersuchungsobjekt mit Hilfe des Koordinatenmeßgerätes so positioniert werden, dass das vom Computer-Tomographen erfaßte Volumen höchstens den doppelten Rauminhalt der Toleranzkugel bzw.



6448 / 10.07.2003

- 9 -

des Toleranzvolumens besitzt, was bedeutet, dass die Zahl  $x$  in diesem Beispiel gleich 2 ist.

5 Gemäß einem anderen Beispiel wird das Untersuchungsobjekt mit Hilfe des Koordinatenmeßgerätes so positioniert, dass das vom Computer-Tomographen erfaßte Volumen höchstens den Vierfachen Rauminhalt der Toleranzkugel bzw. des Toleranzvolumens besitzt, was bedeutet, dass die Zahl  $x$  in diesem Beispiel gleich 4 ist.

10 Gemäß einer Variante wird

- bei in Bezug auf mindestens drei ausgewählte nicht kollineare Punkte des Untersuchungsobjekts (1) vorgegebener Soll-Position der Struktur des Untersuchungsobjekts (1) mit Hilfe des Computer-Tomographen so positioniert, dass mindestens ein Teil des Untersuchungsobjekts (1) in dem  
15 vom Koordinatenmeßgerät erfaßbaren Bereich liegt und dieser Teil des Untersuchungsobjekts (1) die Soll-Position der Struktur enthält,
- bei vorgegebener maximaler Abweichung der Soll-Position von der Ist-Position der Struktur des Untersuchungsobjekts (1) dasselbe mit Hilfe des Computer-Tomographen so positioniert, dass sowohl die Soll-Position als  
20 auch die Ist-Position der Struktur in dem vom Koordinatenmeßgerät erfaßbaren Bereich liegen, wobei die Ist-Position um höchstens eine vorgegebene Toleranzabweichung von der Soll-Position verschieden ist, so dass sich die Ist-Position innerhalb eines Toleranzbereichs befindet, dessen Rand um höchstens die Toleranzabweichung von der Soll-Position  
25 entfernt ist, und
- das Untersuchungsobjekt (1) mit Hilfe des Computer-Tomographen so positioniert, dass der Toleranzbereich vollständig in dem vom Koordinatenmeßgerät erfaßbaren Bereich liegt.

30 Die relative Lage und die relative Orientierung des CT-Koordinatensystems gegenüber dem MG-Koordinatensystem können vorgegeben sein oder durch Einmessung ermittelt werden. Gemäß einer Ausführungsform sind daher die relative Lage und die relative Orientierung des CT-Koordinatensystems

8448 / 10.07.2003

- 10 -

gegenüber dem MG-Koordinatensystem vorgegeben oder durch Einmessung ermittelbar.

Gemäß einer Variante werden folgende Schritte ausgeführt:

- 5 (i) mittels des Koordinatenmeßgerätes wird die Lage der mindestens drei ausgewählten Punkte des Untersuchungsobjektes (1) bezüglich des MG-Koordinatensystems bestimmt,
- (ii) die auf das MG-Koordinatensystem bezogene Soll-Position der Struktur wird mit Hilfe der im Schritt (i) erzielten Meßergebnisse berechnet, und
- 10 (iii) die Soll-Position der Struktur wird vom MG-Koordinatensystem auf das CT-Koordinatensystem umgerechnet, so dass anschließend die Lage der Soll-Position im CT-Koordinatensystem bekannt ist.

Gemäß einer Ausführungsform ist

- 15 (i) mittels des Koordinatenmeßgerätes die Lage der mindestens drei ausgewählten Punkte des Untersuchungsobjektes (1) bezüglich des MG-Koordinatensystems bestimmbar,
- (ii) die auf das MG-Koordinatensystem bezogene Soll-Position der Struktur mit Hilfe der gemäß (i) erzielten Meßergebnisse berechenbar, und
- 20 (iii) die Soll-Position der Struktur vom MG-Koordinatensystem auf das CT-Koordinatensystem umrechenbar, so dass die Lage der Soll-Position im CT-Koordinatensystem bestimmbar ist.

- Gemäß einer Variante wird das Untersuchungsobjekt gegenüber dem Computer-
- 25 Tomographen unter Verwendung der gemäß Schritt (iii) erhaltenen, auf das CT-Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur mittels einer Vorrichtung so gesteuert, dass sich das Toleranzvolumen und daher auch die Struktur in dem vom Computer-Tomographen erfaßten Volumen befindet.

- 30 Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ist daher das Untersuchungsobjekt gegenüber dem Computer-Tomographen unter Verwendung der gemäß (iii) erhaltenen, auf das CT-Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur mittels einer Vorrichtung so steuerbar ist, dass sich das Toleranzvolumen

8448 / 10.07.2003

- 11 -

und daher auch die Struktur in dem vom Computer-Tomographen erfaßten Volumen befindet.

5 Gemäß einer Variante wird mit Hilfe des Computer-Tomographen ein dreidimensionales digitales CT-Bild des Toleranzvolumens einschließlich der Struktur erstellt und als CT-Datensatz gespeichert und die Ist-Position der Struktur im CT-Koordinatensystem aus dem CT-Datensatz bestimmt.

10 Gemäß einer Ausführungsform ist daher mit Hilfe des Computer-Tomographen ein dreidimensionales digitales CT-Bild des Toleranzvolumens einschließlich der Struktur erstellbar und als CT-Datensatz speicherbar und die Ist-Position der Struktur im CT-Koordinatensystem aus dem CT-Datensatz bestimmbar.

Gemäß einer Variante wird

- 15 (i) mittels des Computer-Tomographen die Lage der mindestens drei ausgewählten Punkte des Untersuchungsobjektes bezüglich des CT-Koordinatensystems bestimmt,
- (ii) die auf das CT-Koordinatensystem bezogene Soll-Position der Struktur mit Hilfe der im Schritt (i) erzielten Meßergebnisse berechnet,
- 20 (iii) die Soll-Position der Struktur vom CT-Koordinatensystem auf das MG-Koordinatensystem umgerechnet, so dass anschließend die Lage der Soll-Position im CT-Koordinatensystem bekannt ist,
- (iv) das Untersuchungsobjekt gegenüber dem Koordinatenmeßgerät unter Verwendung der gemäß Schritt (iii) erhaltenen, auf das MG-
- 25 Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur mittels einer Vorrichtung so gesteuert, dass sich das Toleranzvolumen und daher auch die Struktur in dem vom Koordinatenmeßgerät erfaßbaren Bereich befindet, und
- (v) mit Hilfe des Koordinatenmeßgerätes ein dreidimensionales digitales Bild
- 30 des Toleranzbereichs einschließlich der Struktur erstellt und als MG-Datensatz gespeichert und die Ist-Position der Struktur im MG-Koordinatensystem aus dem MG-Datensatz bestimmt.

6448 / 10.07.2003

- 12 -

Gemäß einer bevorzugten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird als Computer-Tomograph ein solcher verwendet, welcher eine Röntgenquelle und einen zweidimensional ortsauflösenden Detektor aufweist, welcher eine aktive Detektorfläche besitzt, die für die von der Röntgenquelle abgegebene Röntgenstrahlung empfindlich ist, wobei das Bildfeld des Computer-Tomographen durch die Größe der aktiven Sensor- oder Detektorfläche gegeben ist, die Soll-Position der Struktur in Bezug auf mindestens drei ausgewählte, nicht kollineare Punkte des Untersuchungsobjektes vorgegeben ist und die Ist-Position um höchstens eine Toleranzabweichung von der Soll-Position verschieden ist, so dass sich die Ist-Position innerhalb eines z.B. kugelförmigen Toleranzvolumens befindet, dessen Rand um höchstens die Toleranzabweichung von der Soll-Position entfernt ist. Die relative Lage und die relative Orientierung des CT-Koordinatensystems gegenüber dem MG-Koordinatensystem sind hierbei entweder bereits bekannt oder werden durch Einmessung ermittelt.

15

Das Koordinatenmeßgerät kann ein taktilen, d.h. auf mechanischer Abtastung beruhendes, oder ein optisches Koordinatenmeßgerät oder ein z.B. lasergestütztes Multisensor-Koordinatenmeßgerät oder ein Ultraschall-Koordinatenmeßgerät sein. Das Koordinatenmeßgerät kann also insbesondere ein solches sein, welches nicht imstande ist, innere Strukturen des Untersuchungsobjektes zu erfassen.

20

Gemäß dieser Variante werden folgende Schritte ausgeführt:

- a) Mittels des Koordinatenmeßgerätes wird die Lage der mindestens drei ausgewählten Punkte des Untersuchungsobjektes bezüglich des MG-Koordinatensystems bestimmt,
- b) die auf das MG-Koordinatensystem bezogene Soll-Position der Struktur wird mit Hilfe der im Schritt a) erzielten Meßergebnisse berechnet,
- c) die Soll-Position der Struktur wird vom MG-Koordinatensystem auf das CT-Koordinatensystem umgerechnet, so dass die Lage derselben im CT-Koordinatensystem bekannt ist,
- d) die Relativposition des Untersuchungsobjektes bezüglich des Computer-Tomographen wird unter Verwendung der gemäß Schritt c) erhaltenen, auf

25

30

6448 / 10.07.2003

- 13 -

das CT-Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur mittels einer Vorrichtung so gesteuert, dass sich das Toleranzvolumen und daher auch die Struktur in demjenigen Volumen befindet, welches der Computer-Tomograph zu erfassen imstande ist,

- 5 e) mit Hilfe des Computer-Tomographen wird ein dreidimensionales digitales CT-Bild des Toleranzvolumens einschließlich der Struktur erstellt und als CT-Datensatz gespeichert, und
- f) die Ist-Position der Struktur im CT-Koordinatensystem wird aus dem CT-Datensatz bestimmt.

10

Dies bedeutet, dass der CT mit Hilfe der durch das Koordinatenmeßgerät durchgeführten Messungen, der relativen Lage und der relativen Orientierung von CT-Koordinatensystem und MG-Koordinatensystem der CT vorteilhafterweise so gesteuert werden kann, dass sich die Struktur von vornherein in dem vom CT

15 erfaßten und abgebildeten Bereich des Untersuchungsobjektes befindet.

- Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist der Computer-Tomograph eine Röntgenquelle und einen zweidimensional ortsauflösenden Detektor auf, welcher eine aktive Detektorfläche besitzt, die für
- 20 die von der Röntgenquelle abgegebene Röntgenstrahlung empfindlich ist, wobei das Bildfeld des Computer-Tomographen durch die Größe der aktiven Detektorfläche gegeben ist, die Soll-Position der Struktur in Bezug auf mindestens drei ausgewählte, nicht kollineare Punkte des Untersuchungsobjektes vorgegeben ist und die Ist-Position um höchstens eine Toleranzabweichung von der Soll-
- 25 Position verschieden ist, so dass sich die Ist-Position innerhalb eines z.B. kugelförmigen Toleranzvolumens befindet, dessen Rand um höchstens die Toleranzabweichung von der Soll-Position entfernt ist, und die relative Lage und die relative Orientierung des CT-Koordinatensystems gegenüber dem MG-Koordinatensystem bekannt oder durch Einmessung ermittelbar sind, wobei
- 30 a) mittels des Koordinatenmeßgerätes die Lage der mindestens drei ausgewählten Punkte des Untersuchungsobjektes bezüglich des MG-Koordinatensystems bestimmbar ist,

6448 / 10.07.2003

- 14 -

- b) hieraus die auf das MG-Koordinatensystem bezogene Soll-Position der Struktur berechenbar ist,
- c) die Soll-Position der Struktur vom MG-Koordinatensystem auf das CT-Koordinatensystem umrechenbar ist, so dass die Lage derselben im CT-Koordinatensystem bestimmbar ist,
- 5 d) die Relativposition des Untersuchungsobjektes bezüglich des Computer-Tomographen unter Verwendung der auf das CT-Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur mittels einer Vorrichtung so steuerbar ist, dass sich das Toleranzvolumen und daher auch die Struktur
- 10 in demjenigen Volumen befindet, welches der Computer-Tomograph zu erfassen imstande ist, und
- e) der Computer-Tomograph imstande ist, ein dreidimensionales digitales CT-Bild des Toleranzvolumens einschließlich der Struktur zu erstellen und als CT-Datensatz zu speichern,
- 15 so dass die Ist-Position sowie die Form der Struktur im CT-Koordinatensystem aus dem CT-Datensatz bestimmbar sind.

Mit aktiver Detektorfläche ist diejenige Fläche des Detektors gemeint, die zur Registrierung der Röntgenstrahlung von der Röntgenquelle nutzbar ist. Unter dem

20 Bildfeld des Computer-Tomographen wird hierbei die Ausdehnung der Projektion des vom Computer-Tomographen erfaßten Volumens auf die Ebene der Detektorfläche verstanden.

Somit ist erfindungsgemäß die Möglichkeit geschaffen, den Computer-Tomographen, abgekürzt CT, bei so hoher Vergrößerung zu betreiben, dass er nicht

25 mehr das ganze Untersuchungsobjekt synchron abbilden kann, und hierbei die Relativposition zwischen CT und Untersuchungsobjekt von vornherein so zu steuern, dass vorteilhafterweise immer das Toleranzvolumen und somit auch die Struktur vom CT erfaßt wird.

30

Zur Bestimmung der auf das MG-Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur ist die Vermessung von mindestens drei ausgewählten Punkten des Untersuchungsobjektes bezüglich des MG-Koordinatensystems erforderlich;

6448 / 10.07.2003

- 15 -

werden mehr als drei Punkte auf die genannte Weise vermessen, so lassen sich die zusätzlichen Meßergebnisse vorteilhaft zur Verringerung des mittleren Fehlers und damit zur Erhöhung der erzielten Genauigkeit verwenden.

- 5 Ein Vorteil der Erfindung besteht darin, dass die äußere Form von Werkstücken oder anderen Objekten z.B. in der Serienproduktion in vielen Fällen routinemäßig ohnehin mit einem taktilen oder optischen Koordinatenmeßgerät oder mit einem Multisensor-Koordinatenmeßgerät vermessen wird, z.B. zum Zweck der Produktionsüberwachung. Die Ergebnisse des Schrittes a) stehen in diesen Fällen  
10 von vornherein zur Verfügung, so dass der Schritt a) keinen zusätzlichen Aufwand mit sich bringt.

- Das Toleranzvolumen kann insbesondere rotationssymmetrisch, d.h. eine Toleranzkugel sein, so dass deren Radius durch die Toleranzabweichung und  
15 deren Mittelpunkt durch die Soll-Position gegeben ist.

- Gemäß einer zweckmäßigen Variante der Erfindung wird der Computer-Tomograph im Verfahrensschritt d) so gesteuert, dass sich das Zentrum des Toleranzvolumens im wesentlichen im Zentrum des von dem Computer-Tomographen erfaßbaren Volumens befindet. Bevorzugt ist daher der Computer-Tomograph so steuerbar, dass sich das Zentrum des Toleranzvolumens im  
20 wesentlichen im Zentrum des von dem Computer-Tomographen erfaßbaren Volumens befindet.

- 25 Dies bedeutet, dass der CT erfindungsgemäß so gesteuert wird, dass sich die Soll-Position der Struktur vorteilhafterweise von vornherein im Zentrum des vom CT erfaßten und abgebildeten Bereichs des Untersuchungsobjektes befindet; die Erfindung ermöglicht von vornherein eine "Zentrierung" der Soll-Position der Struktur in dem vom CT erfaßbaren Bereich.

30

Gemäß einer Variante wird der Computer-Tomograph so gesteuert, dass bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenquelle als Projektionszentrum das Bildfeld durch die Projektion des Toleranzvolumens auf

6448 / 10.07.2003

- 16 -

den Detektor vollständig ausgefüllt wird, so dass die relative laterale Auflösungsfähigkeit der aktiven Detektorfläche vollständig zur Erfassung des Toleranzvolumens ausgenutzt wird. In diesem Fall ist der Computer-Tomograph so steuerbar, dass bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenquelle als Projektionszentrum das Bildfeld durch die Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor vollständig ausgefüllt ist.

Gemäß einer anderen bevorzugten Variante wird der Computer-Tomograph so gesteuert, dass bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenquelle als Projektionszentrum der kleinste Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der kleinste Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich groß sind, oder der größte Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der größte Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich groß sind.

Gemäß einer weiteren Variante wird der Computer-Tomograph so gesteuert, dass bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenquelle als Projektionszentrum der größte Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der kleinste Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich groß sind.

In einer Variante ist der Computer-Tomograph so steuerbar, dass bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenquelle als Projektionszentrum der kleinste Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der kleinste Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich groß sind, oder der größte Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der größte Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich groß sind.

Gemäß einer weiteren Variante ist der Computer-Tomograph so steuerbar, dass bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenquelle als Projektionszentrum der größte Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens



6448 / 10.07.2003

- 17 -

auf den Detektor und der kleinste Durchmesser des Bildfeldes des Computertomographen im wesentlichen gleich groß sind.

Auf diese Weise kann der zur Erstellung des CT-Bildes verwendete Vergrößerungsfaktor so an die Abmessungen des Bildfeldes und an die Größe des Toleranzvolumens angepaßt werden, dass die Projektion des Toleranzvolumens im wesentlichen mit der Größe des Bildfeldes übereinstimmt. Der Vergrößerungsfaktor kann auf diese Weise vorteilhaft so gewählt werden, dass er der größtmögliche ist, bei welchem das Toleranzvolumen gerade noch vollständig als Ganzes vom CT erfassbar ist, so dass sich die Struktur vorteilhafterweise von vornherein im dem vom CT erfassten und abgebildeten Bereich befindet. Auch bei hohem Vergrößerungsfaktor besteht daher keine Gefahr, dass sich die Struktur außerhalb des vom CT erfassbaren Bereiches befindet. Hierbei wird die relative laterale Auflösungsfähigkeit der aktiven Detektorfläche weitgehend zur Erfassung des Toleranzvolumens ausgenutzt.

Das Untersuchungsobjekt kann z.B. eine Kfz-Einspritzdüse mit einer typischen Länge von 50 mm und einem typischen mittleren Durchmesser von 25 mm sein. Die zu untersuchende Struktur kann z.B. in die Einspritzdüse eingebrachte Bohrung von einigen Millimetern Länge sein.

Die Soll-Position der Struktur ist bei solchen Strukturen, welche gezielt an Objekten angebracht werden, wie beispielsweise die Bohrung einer Einspritzdüse, ebenfalls von vornherein bekannt. In vielen Fällen erfolgt die Produktion derartiger Objekte mit großer Präzision, d.h. mit sehr geringen Toleranzen zwischen Soll- und Ist-Position, so dass das Toleranzvolumen sehr klein ist und der Vergrößerungsfaktor vorteilhafterweise entsprechend hoch gewählt werden kann.

Gemäß einer Variante wird

A) das Untersuchungsobjekt zur Erstellung des CT-Bildes schrittweise um eine Rotationsachse gedreht,

8448 / 10.07.2003

- 18 -

- B) für jede der so durchlaufenen Rotationsstellungen des Untersuchungsobjektes mit dem Detektor ein zweidimensionales Durchstrahlungs-Röntgenbild des Untersuchungsobjektes aufgenommen wird, und
- C) aus den so erhaltenen zweidimensionalen Durchstrahlungs-Röntgenbildern  
5 das dreidimensionale CT-Bild erstellt wird.

Gemäß einer weiteren Variante wird

- D) das Untersuchungsobjekt nach Ausführung der Schritte A) und B) um eine bestimmte Strecke vorzugsweise in einer Richtung parallel zur  
10 Rotationsachse translatorisch verschoben und danach erneut schrittweise um die Rotationsachse gedreht wird;
- E) für jede der im Schritt D) durchlaufenen Rotationsstellungen des Untersuchungsobjektes mit dem Detektor wiederum ein zweidimensionales Durchstrahlungs-Röntgenbild des Untersuchungsobjektes aufgenommen  
15 wird, und
- F) aus den im Schritt E) erhaltenen zweidimensionalen Durchstrahlungs-Röntgenbildern ein weiteres dreidimensionales CT-Bild erstellt wird.

Die Schritte D) bis F) können mehrmals wiederholt werden.

20

- Gemäß einer anderen Variante der Erfindung wird das Untersuchungsobjekt zur Erstellung eines dreidimensionalen CT-Bildes nicht nur schrittweise um einen vorgebbaren Drehwinkel gedreht, sondern nach jedem dieser Rotationsschritte um eine bestimmte Strecke translatorisch verschoben, so dass die nicht auf der  
25 Drehachse liegenden Punkte des Untersuchungsobjekts eine im wesentlichen spiralförmige Bahn beschreiben.

- Aus dem CT-Bild oder dem CT-Datensatz kann zusätzlich zur Lage der Struktur auch die Form der Struktur ermittelt werden. Beispielsweise kann die Form der  
30 Begrenzungsfläche einer kleinen Bohrung in einer Einspritzdüse mit Hilfe der Erfindung sehr genau vermessen werden. Die Soll-Lage der Struktur kann dabei auf einen ausgewählten Punkt der Struktur bezogen sein, wobei die Koordinaten weiterer Punkte der Struktur relativ zu diesem Punkt der Struktur aus dem CT-Bild

6448 / 10.07.2003

- 19 -

bestimmt werden können. Die so ermittelten Koordinaten von Punkten der Struktur können z.B. zur Parametrisierung der Form der Struktur herangezogen werden.

- 5    Gemäß einer anderen Variante wird aus dem CT-Bild oder dem CT-Datensatz anstelle der Lage der Struktur die Form der Struktur ermittelt.

Die relative Lage und die relative Orientierung zwischen MG-Koordinatensystem und CT-Koordinatensystem läßt sich bestimmen, indem die Lage von mindestens  
10    drei, vorzugsweise von mindestens vier ausgewählten Aufpunkten eines Kalibrierobjektes sowohl mit dem Computer-Tomographen im CT-Koordinatensystem als auch mit dem Koordinaten-Meßgerät im MG-Koordinatensystem bestimmt wird. Aus dem Vergleich der so erhaltenen Ergebnisse können die relative Lage und die relative Orientierung des CT-  
15    Koordinatensystems gegenüber MG-Koordinatensystem, z.B. eine Transformationsmatrix zur Überführung dieser beiden Koordinatensystem ineinander, ermittelt werden. Werden mehr als drei Aufpunkte auf die genannte Weise eingemessen, so ist die genannte Koordinatentransformation mathematisch überbestimmt; die redundanten Ergebnisse lassen sich jedoch vorteilhaft zur  
20    Verringerung des mittleren Fehlers und damit zur Erhöhung der erzielten Genauigkeit kombinieren.

Das Untersuchungsobjekt und das Kalibrierobjekt können selbstverständlich identisch sein. Ebenso können die ausgewählten Punkte des Untersuchungs-  
25    objektes mit den zu gegenseitigen Einmessung der beiden Koordinatensysteme verwendeten Aufpunkten zusammenfallen.

Gemäß einer bevorzugten Variante sind der Computer-Tomograph und das Multisensor-Koordinatenmeßgerät zu einer einzigen Vorrichtung integriert.

30

Figur 1 zeigt schematisch ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Bestimmung der Ist-Position und der Form einer Struktur eines Untersuchungsobjektes 1 in einem Koordinatensystem.

6448 / 10.07.2003

- 20 -

Die Vorrichtung von Fig. 1 dient zur Bestimmung der Ist-Position und der Form einer Struktur eines Untersuchungsobjektes in einem Koordinatensystem. Die Vorrichtung umfaßt einen Computer-Tomographen, im folgenden als CT bezeichnet, mit einem auf diesen bezogenen Koordinatensystem, im folgenden als CT-Koordinatensystem bezeichnet, und ein Multisensor-Koordinatenmeßgerät mit einem auf dieses bezogenen Koordinatensystem, im folgenden als MG-Koordinatensystem bezeichnet.

Der CT umfaßt eine Röntgenquelle 5 und einen zweidimensional ortsauflösenden Detektor 6. Die Soll-Position der Struktur ist in Bezug auf mindestens drei ausgewählte, nicht kollineare Punkte des Untersuchungsobjektes 1 vorgegeben. Die Ist-Position der Struktur ist um höchstens eine Toleranzabweichung von der Soll-Position verschieden, so dass sich die Ist-Position innerhalb eines z.B. kugelförmigen Toleranzvolumens befindet, dessen Rand um höchstens die Toleranzabweichung von der Soll-Position entfernt ist. Die relative Lage und die relative Orientierung des CT-Koordinatensystems gegenüber dem MG-Koordinatensystem sind bekannt oder durch Einmessung ermittelbar.

Mittels des Koordinatenmeßgerätes ist die Lage der mindestens drei ausgewählten Punkte des Untersuchungsobjektes 1 bezüglich des MG-Koordinatensystems bestimmbar. Hieraus ist die auf das MG-Koordinatensystem bezogene Soll-Position der Struktur berechenbar. Die Soll-Position der Struktur ist vom MG-Koordinatensystem auf das CT-Koordinatensystem umrechenbar, so dass die Lage derselben im CT-Koordinatensystem bestimmbar ist.

Die Relativposition des Untersuchungsobjektes 1 bezüglich des CT ist unter Verwendung der auf das CT-Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur mittels einer Vorrichtung 3 so steuerbar, dass sich das Toleranzvolumen und daher auch die Struktur in demjenigen Volumen befindet, welches der Computer-Tomograph zu erfassen imstande ist.

Der CT ist imstande, ein dreidimensionales digitales CT-Bild des Toleranzvolumens einschließlich der Struktur zu erstellen und als CT-Datensatz zu

6448 / 10.07.2003

- 21 -

speichern, so dass die Ist-Position sowie die Form der Struktur im CT-Koordinatensystem aus dem CT-Datensatz bestimmbar sind.

Die Vorrichtung von Fig. 1 umfaßt einen Computer-Tomographen, im Folgenden  
5 mit CT abgekürzt, mit einer Röntgenquelle 5 und einem zweidimensional  
ortsauflösenden Detektor, z.B. eine CCD-Matrix 6, welche für die von der  
Röntgenquelle 5 abgegebene harte Röntgenstrahlung von typischerweise z.B.  
450 keV empfindlich ist. Die Vorrichtung von Fig. 1 umfaßt ferner eine Sensor-  
Kamera-Einheit 4, welche oberhalb des Untersuchungsobjektes 1 angeordnet ist  
10 und einen mechanischen Taster, einen Lasertaster sowie zwei Kameras umfaßt  
und Teil eines Multisensor-Koordinatenmeßgerätes ist.

Das Untersuchungsobjekt 1 befindet sich auf einem Rotationstisch 2, welcher  
schrittweise rotierbar und seinerseits an einem Verfahrtisch 3 angeordnet ist. Der  
15 Rotationstisch 2 ist ferner gegenüber dem Verfahrtisch 3 aufwärts und abwärts  
translatorisch verfahrbar, was in Fig. 1 durch einen senkrechten Doppelpfeil  
angedeutet ist.

Der Verfahrtisch verfügt über einen Antrieb 9 und ist zweidimensional  
20 translatorisch verfahrbar, nämlich in der zu dem Doppelpfeil von Fig. 1  
senkrechten Ebene. Die Röntgenquelle 5, die CCD-Matrix 6, die Sensor-Kamera-  
Einheit 4 sowie der Verfahrtisch 3 sind an einem gemeinsamen Montagerahmen 7  
angeordnet, welcher auf einem nivellierbaren Unterbau 8 ruht. Durch Verfahren  
des Verfahrtisches 3 in Richtung auf die Röntgenquelle 5 wird der  
25 Vergrößerungsfaktor erhöht; durch Verfahren des Verfahrtisches 3 in die  
umgekehrte Richtung wird der Vergrößerungsfaktor verringert

Das Untersuchungsobjekt 1 ist zwischen Röntgenquelle 5 und CCD-Matrix 6  
angeordnet und wird zur Erstellung eines CT-Bildes mit der Röntgenstrahlung der  
30 Röntgenquelle 5 durchstrahlt, danach durch Drehen des Rotationstisches 2 um  
z.B. 0,9° gedreht und durch Verfahren des Verfahrtisches 3 um eine bestimmte  
Strecke translatorisch verschoben und erneut durchstrahlt, usw.

8448 / 10.07.2003

- 22 -

Für jede der so durchlaufenden Stellungen des Untersuchungsobjektes 1 wird mit der CCD-Matrix 6 ein zweidimensionales Durchstrahlungs-Röntgenbild des Untersuchungsobjektes 1 aufgenommen und aus der so gewonnenen Vielzahl von zweidimensionalen Einzelbildern wird ein dreidimensionales digitales Bild des vom CT erfaßten Bereiches des Untersuchungsobjekts 1 berechnet.

Diese Berechnung wird durch einen Berechnungs- und Steuerungscomputer 10 ausgeführt, welcher zugleich zur Steuerung des Rotationstisches 2, des Verfahrtisches 3, der Sensor-Kamera-Einheit 4 und der Röntgenquelle 5 dient und zu diesem Zweck über Leitungen 13, 14, 15, 16 mit den genannten Komponenten verbunden ist. Die Röntgenquelle wird durch ein Anschlußkabel 11 mit elektrischer Energie versorgt und ist imstande, einen das Untersuchungsobjekt 1 erfassenden Röntgenstrahlenkegel 12 auszusenden.

Der CT umfaßt die Röntgenquelle 5, die CCD-Matrix 6, den Berechnungs- und Steuerungscomputer 10, den Rotationstisch 2, den Verfahrtisch 3 mit seinem Antrieb 9, den Montagerahmen 7 und seinen Unterbau 8.

Das Multisensor-Koordinatenmeßgerät umfaßt die Sensor-Kamera-Einheit 4, den Berechnungs- und Steuerungscomputer 10, den Rotationstisch 2, den Verfahrtisch 3 mit seinem Antrieb 9, den Montagerahmen 7 und seinen Unterbau 8.

Der Berechnungs- und Steuerungscomputer 10, der Rotationstisch 2, der Verfahrtisch 3 mit seinem Antrieb 9, der Montagerahmen 7 und sein Unterbau 8 gehören demnach sowohl zum CT als auch zum Multisensor-Koordinatenmeßgerät. In der Vorrichtung von Figur 1 sind somit erfindungsgemäß der CT und das Multisensor-Koordinatenmeßgerät zu einer einzigen Vorrichtung integriert.

Die gewerbliche Anwendbarkeit der Erfindung besteht darin, dass dieselbe in der zerstörungsfreien Prüfung und Überwachung von Gegenständen, insbesondere von Serienteilen, anwendbar ist. Ebenso ist die Erfindung in der Medizintechnik sowie zerstörungsfreien Werkstoffprüfung anwendbar zum Orten und Vermessen von inneren Strukturen. Die besondere Nützlichkeit der Erfindung besteht darin,

6448 / 10.07.2003

- 23 -

dass eingeschlossene Strukturen eines Objektes, zum Beispiel Lunker oder Hohlräume, ohne Zerstörung oder Öffnen des Objektes geortet und gegenüber dem Stand der Technik auf Anhieb mit hoher Genauigkeit vermessen werden können.

5

#### Liste der Bezugszeichen:

10

- 1 Untersuchungsobjekt
- 2 Rotiertisch
- 3 Verfahrtisch
- 4 Sensor-Kamera-Einheit
- 15 5 Röntgenquelle
- 6 CCD-Matrix
- 7 Montagerahmen
- 8 Unterbau
- 9 Antrieb für den Verfahrtisch
- 20 10 Berechnungs- und Steuerungscomputer
- 11 Anschlußkabel der Röntgenquelle
- 12 Röntgenstrahlenkegel aus der Röntgenquelle
- 13-16 Leitungen

6448 / 10.07.2003

- 24 -

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Bestimmung der Ist-Position einer Struktur eines Untersuchungsobjektes (1) in einem Koordinatensystem, wobei ein Computer-  
5 Tomograph in Anwendung der CT-Technik mit einem auf den Computer-Tomographen bezogenen ersten Koordinatensystem, CT-Koordinatensystem, und ein Koordinatenmeßgerät, welches entweder ein taktils oder optisches Koordinatenmeßgerät oder ein Multisensor-Koordinatenmeßgerät oder ein Ultraschall-Koordinatenmeßgerät ist, mit einem auf dieses bezogenen zweiten  
10 Koordinatensystem, MG-Koordinatensystem, verwendet werden, wobei
- a) im MG-Koordinatensystem die Koordinaten des Untersuchungsobjekts (1) bestimmt werden,
  - b) eine Soll-Position der Struktur innerhalb des Untersuchungsobjektes (1) vorgegeben wird,
  - 15 c) die Soll-Position nach Ausführung der Schritte a) und b) im MG-Koordinatensystem bestimmt wird,
  - d) und das Untersuchungsobjekt (1) unter Verwendung des Ergebnisses von Schritt c) so positioniert wird, dass die Soll-Position der Struktur innerhalb des vom Computer-Tomographen erfassten Volumens zu liegen kommt.
- 20
2. Verfahren zur Bestimmung der Ist-Position einer Struktur eines Untersuchungsobjektes (1) in einem Koordinatensystem, wobei ein Computer-Tomograph in Anwendung der CT-Technik mit einem auf den Computer-Tomographen bezogenen ersten Koordinatensystem, CT-Koordinatensystem, und ein Koordinatenmeßgerät, welches entweder ein  
25 taktils oder optisches Koordinatenmeßgerät oder ein Multisensor-Koordinatenmeßgerät oder ein Ultraschall-Koordinatenmeßgerät ist, mit einem auf dieses bezogenen zweiten Koordinatensystem, MG-Koordinatensystem, verwendet werden, wobei
- 30 a) im CT-Koordinatensystem die Koordinaten des Untersuchungsobjekts (1) bestimmt werden,
  - b) eine Soll-Position der Struktur innerhalb des Untersuchungsobjektes (1) vorgegeben wird,



8448 / 10.07.2003

- 25 -

- c) die Soll-Position nach Ausführung der Schritte a) und b) im CT-Koordinatensystem bestimmt wird,
- d) und das Untersuchungsobjekt (1) unter Verwendung des Ergebnisses von Schritt c) so positioniert wird, dass die Soll-Position der Struktur innerhalb  
5 des vom Koordinatenmeßgerät erfaßbaren Bereichs zu liegen kommt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
dass bei in Bezug auf mindestens drei ausgewählte nicht kollineare Punkte des Untersuchungsobjekts (1) vorgegebener Soll-Position der Struktur das  
10 Untersuchungsobjekt mit Hilfe des Koordinatenmeßgerätes so positioniert wird, dass mindestens ein Teil des Untersuchungsobjekts (1) in dem vom Computer-Tomographen erfaßten Volumen liegt und dieser Teil des Untersuchungsobjekts (1) die Soll-Position der Struktur enthält.

15 4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet,  
dass bei vorgegebener maximaler Abweichung der Soll-Position von der Ist-Position der Struktur des Untersuchungsobjekts (1) dasselbe mit Hilfe des Koordinatenmeßgerätes so positioniert wird, dass sowohl die Soll-Position als auch die Ist-Position der Struktur in dem vom Computer-Tomographen erfaßten  
20 Volumen liegen.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass

- die Ist-Position um höchstens eine vorgegebene Toleranzabweichung von der Soll-Position verschieden ist, so dass sich die Ist-Position innerhalb  
25 eines Toleranzvolumens befindet, dessen Rand um höchstens die Toleranzabweichung von der Soll-Position entfernt ist, und
- das Untersuchungsobjekt mit Hilfe des Koordinatenmeßgerätes so positioniert wird, dass das Toleranzvolumen vollständig in dem vom Computer-Tomographen erfaßten Volumen liegt.

30

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet,  
dass das Toleranzvolumen eine Kugel, Toleranzkugel, ist, deren Mittelpunkt mit der Soll-Positionen zusammenfällt und deren Radius durch den Betrag der

6448 / 10.07.2003

- 26 -

maximalen Abweichung der Soll-Position von der Ist-Position der Struktur vorgegeben ist.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet,

- 5 dass das Untersuchungsobjekt mit Hilfe des Koordinatenmeßgerätes so positioniert wird, dass das vom Computer-Tomographen erfaßte Volumen höchstens den x-fachen Rauminhalt der Toleranzkugel bzw. des Toleranzvolumens besitzt, wobei x eine vorgebbare Zahl vorzugsweise größer als 1 ist.

10 8. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass

- bei in Bezug auf mindestens drei ausgewählte nicht kollineare Punkte des Untersuchungsobjekts (1) vorgegebener Soll-Position der Struktur das Untersuchungsobjekt (1) mit Hilfe des Computer-Tomographen so positioniert wird, dass mindestens ein Teil des Untersuchungsobjekts (1) in  
15 dem vom Koordinatenmeßgerät erfaßbaren Bereich liegt und dieser Teil des Untersuchungsobjekts (1) die Soll-Position der Struktur enthält,
- bei vorgegebener maximaler Abweichung der Soll-Position von der Ist-Position der Struktur des Untersuchungsobjekts (1) dasselbe mit Hilfe des Computer-Tomographen so positioniert wird, dass sowohl die Soll-Position  
20 als auch die Ist-Position der Struktur in dem vom Koordinatenmeßgerät erfaßbaren Bereich liegen,
- die Ist-Position um höchstens eine vorgegebene Toleranzabweichung von der Soll-Position verschieden ist, so dass sich die Ist-Position innerhalb eines Toleranzbereichs befindet, dessen Rand um höchstens die  
25 Toleranzabweichung von der Soll-Position entfernt ist, und
- das Untersuchungsobjekt (1) mit Hilfe des Computer-Tomographen so positioniert wird, dass der Toleranzbereich vollständig in dem vom Koordinatenmeßgerät erfaßbaren Bereich liegt.

30 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet,

dass die relative Lage und die relative Orientierung des CT-Koordinatensystems gegenüber dem MG-Koordinatensystem vorgegeben sind oder durch Einmessung ermittelt werden.

6448 / 10.07.2003

- 27 -

10. Verfahren nach Anspruch 3 und 9, dadurch gekennzeichnet, dass
- (i) mittels des Koordinatenmeßgerätes die Lage der mindestens drei ausgewählten Punkte des Untersuchungsobjektes (1) bezüglich des MG-Koordinatensystems bestimmt wird,
  - 5 (ii) die auf das MG-Koordinatensystem bezogene Soll-Position der Struktur mit Hilfe der im Schritt (i) erzielten Meßergebnisse berechnet wird, und
  - (iii) die Soll-Position der Struktur vom MG-Koordinatensystem auf das CT-Koordinatensystem umgerechnet wird, so dass anschließend die Lage der Soll-Position im CT-Koordinatensystem bekannt ist.
- 10
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Untersuchungsobjekt (1) gegenüber dem Computer-Tomographen unter Verwendung der gemäß Schritt (iii) erhaltenen, auf das CT-Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur mittels einer Vorrichtung (3) so
- 15 gesteuert wird, dass sich das Toleranzvolumen und daher auch die Struktur in dem vom Computer-Tomographen erfaßten Volumen befindet.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass mit Hilfe des Computer-Tomographen ein dreidimensionales digitales CT-Bild des
- 20 Toleranzvolumens einschließlich der Struktur erstellt und als CT-Datensatz gespeichert und die Ist-Position der Struktur im CT-Koordinatensystem aus dem CT-Datensatz bestimmt wird.
13. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass
- 25 (i) mittels des Computer-Tomographen die Lage der mindestens drei ausgewählten Punkte des Untersuchungsobjektes (1) bezüglich des CT-Koordinatensystems bestimmt wird,
  - (ii) die auf das CT-Koordinatensystem bezogene Soll-Position der Struktur mit Hilfe der im Schritt (i) erzielten Meßergebnisse berechnet wird,
  - 30 (iii) die Soll-Position der Struktur vom CT-Koordinatensystem auf das MG-Koordinatensystem umgerechnet wird, so dass anschließend die Lage der Soll-Position im CT-Koordinatensystem bekannt ist,

8448 / 10.07.2003

- 28 -

- (iv) das Untersuchungsobjekt (1) gegenüber dem Koordinatenmeßgerät unter Verwendung der gemäß Schritt (iii) erhaltenen, auf das MG-Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur mittels einer Verfahrenseinrichtung (3) so gesteuert wird, dass sich das Toleranzvolumen und daher auch die Struktur in dem vom Koordinatenmeßgerät erfassbaren Bereich befindet, und
- (v) mit Hilfe des Koordinatenmeßgerätes ein dreidimensionales digitales Bild des Toleranzbereichs einschließlich der Struktur erstellt und als MG-Datensatz gespeichert und die Ist-Position der Struktur im MG-Koordinatensystem aus dem MG-Datensatz bestimmt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

- als Computer-Tomograph ein solcher verwendet wird, welcher eine Röntgenquelle (5) und einen zweidimensional ortsauflösenden Detektor (6) aufweist, welcher eine aktive Detektorfläche besitzt, die für die von der Röntgenquelle (5) abgegebene Röntgenstrahlung empfindlich ist, wobei das Bildfeld des Computer-Tomographen durch die Größe der aktiven Detektorfläche gegeben ist,
- die Soll-Position der Struktur in Bezug auf mindestens drei ausgewählte, nicht kollineare Punkte des Untersuchungsobjektes (1) vorgegeben ist und die Ist-Position um höchstens eine Toleranzabweichung von der Soll-Position verschieden ist, so dass sich die Ist-Position innerhalb eines z.B. kugelförmigen Toleranzvolumens befindet, dessen Rand um höchstens die Toleranzabweichung von der Soll-Position entfernt ist, und
- die relative Lage und die relative Orientierung des CT-Koordinatensystems gegenüber dem MG-Koordinatensystem bekannt sind oder durch Einmessung ermittelt werden,

und folgende Schritte ausgeführt werden:

- a) Mittels des Koordinatenmeßgerätes wird die Lage der mindestens drei ausgewählten Punkte des Untersuchungsobjektes (1) bezüglich des MG-Koordinatensystems bestimmt,
- b) die auf das MG-Koordinatensystem bezogene Soll-Position der Struktur wird mit Hilfe der im Schritt a) erzielten Meßergebnisse berechnet,

6448 / 10.07.2003

- 29 -

- c) die Soll-Position der Struktur wird vom MG-Koordinatensystem auf das CT-Koordinatensystem umgerechnet, so dass die Lage derselben im CT-Koordinatensystem bekannt ist,
- d) die Relativposition des Untersuchungsobjektes (1) bezüglich des  
5 Computer-Tomographen wird unter Verwendung der gemäß Schritt c) erhaltenen, auf das CT-Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur mittels einer Vorrichtung (3) so gesteuert, dass sich das Toleranzvolumen und daher auch die Struktur in demjenigen Volumen befindet, welches der Computer-Tomograph zu erfassen imstande ist,
- 10 e) mit Hilfe des Computer-Tomographen wird ein dreidimensionales digitales CT-Bild des Toleranzvolumens einschließlich der Struktur erstellt und als CT-Datensatz gespeichert, und
- f) die Ist-Position der Struktur im CT-Koordinatensystem wird aus dem CT-Datensatz bestimmt.

15

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Toleranzvolumen eine Toleranzkugel ist, so dass deren Radius durch die Toleranzabweichung und deren Mittelpunkt durch die Soll-Position gegeben ist.

20

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass der Computer-Tomograph im Verfahrensschritt d) so gesteuert wird, dass sich das Zentrum des Toleranzvolumens im wesentlichen im Zentrum des von dem Computer-Tomographen erfassbaren Volumens befindet.

25

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Computer-Tomograph so gesteuert wird, dass bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenquelle (5) als Projektionszentrum das Bildfeld durch die Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor vollständig  
30 ausgefüllt wird.

6448 / 10.07.2003

- 30 -

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Computer-Tomograph so gesteuert wird, dass bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenquelle (5) als Projektionszentrum
- der kleinste Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der kleinste Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich groß sind; oder
  - der größte Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der größte Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich groß sind; oder
  - der größte Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der kleinste Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich groß sind,
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem CT-Bild oder dem CT-Datensatz zusätzlich zur Lage der Struktur auch die Form der Struktur ermittelt wird.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem CT-Bild oder dem CT-Datensatz anstelle der Lage der Struktur die Form der Struktur ermittelt wird.
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Lage von mindestens drei, vorzugsweise von mindestens vier ausgewählten Aufpunkten eines Kalibrierobjektes sowohl mit dem Computer-Tomographen im CT-Koordinatensystem als auch mit dem Koordinatenmeßgerät im MG-Koordinatensystem bestimmt wird und aus dem Vergleich der so erhaltenen Ergebnisse die relative Lage und die relative Orientierung des CT-Koordinatensystems gegenüber MG-Koordinatensystem ermittelt werden.
22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass das Untersuchungsobjekt (1) und das Kalibrierobjekt identisch sind.

5448 / 10.07.2003

- 31 -

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass

- A) das Untersuchungsobjekt (1) zur Erstellung des CT-Bildes schrittweise um eine Rotationsachse gedreht wird,
- B) für jede der so durchlaufenen Rotationsstellungen des Untersuchungsobjektes (1) mit dem Detektor (6) ein zweidimensionales Durchstrahlungs-Röntgenbild des Untersuchungsobjektes (1) aufgenommen wird, und
- C) aus den so erhaltenen zweidimensionalen Durchstrahlungs-Röntgenbildern das dreidimensionale CT-Bild erstellt wird.

10 24. Verfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass

- D) das Untersuchungsobjekt (1) nach Ausführung der Schritte A) und B) um eine bestimmte Strecke vorzugsweise in einer Richtung parallel zur Rotationsachse translatorisch verschoben und danach erneut schrittweise um die Rotationsachse gedreht wird;
- 15 E) für jede der im Schritt D) durchlaufenen Rotationsstellungen des Untersuchungsobjektes mit dem Detektor (6) wiederum ein zweidimensionales Durchstrahlungs-Röntgenbild des Untersuchungsobjektes (1) aufgenommen wird, und
- F) aus den im Schritt E) erhaltenen zweidimensionalen Durchstrahlungs-Röntgenbildern ein weiteres dreidimensionales CT-Bild erstellt wird.

25. Vorrichtung zur Bestimmung der Ist-Position einer Struktur eines Untersuchungsobjektes (1) in einem Koordinatensystem, mit

- einem Computer-Tomograph mit einem auf den Computer-Tomographen bezogenen ersten Koordinatensystem, CT-Koordinatensystem,
- 25 - und einem Koordinatenmeßgerät, welches entweder ein taktils oder optisches Koordinatenmeßgerät oder ein Multisensor-Koordinatenmeßgerät oder ein Ultraschall-Koordinatenmeßgerät ist, mit einem auf dieses bezogenen zweiten Koordinatensystem, MG-Koordinatensystem,
- 30 verwendet werden,

wobei im MG-Koordinatensystem die Koordinaten des Untersuchungsobjekts (1) bestimmbar sind und eine Soll-Position der Struktur innerhalb des Untersuchungsobjektes (1) vorgegeben ist, so dass

6448 / 10.07.2003

- 32 -

- die Soll-Position im MG-Koordinatensystem bestimmbar ist
  - und das Untersuchungsobjekt (1) so positionierbar ist, dass die Soll-Position der Struktur innerhalb des vom Computer-Tomographen erfassten Volumens zu liegen kommt,
- 5 wobei der Computer-Tomograph und das Multisensor-Koordinatenmeßgerät zu einer einzigen Vorrichtung integriert sind.

26. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet,  
dass bei in Bezug auf mindestens drei ausgewählte nicht kollineare Punkte des  
10 Untersuchungsobjekts (1) vorgegebener Soll-Position der Struktur das Untersuchungsobjekt mit Hilfe des Koordinatenmeßgerätes so positionierbar ist, dass mindestens ein Teil des Untersuchungsobjekts (1) in dem vom Computer-Tomographen erfaßten Volumen liegt und dieser Teil des Untersuchungsobjekts (1) die Soll-Position der Struktur enthält.

15

27. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet,  
dass bei vorgegebener maximaler Abweichung der Soll-Position von der Ist-Position der Struktur des Untersuchungsobjekts (1) dasselbe mit Hilfe des Koordinatenmeßgerätes so positionierbar ist, dass sowohl die Soll-Position als  
20 auch die Ist-Position der Struktur in dem vom Computer-Tomographen erfaßten Volumen liegen.

28. Vorrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass

- die Ist-Position um höchstens eine vorgegebene Toleranzabweichung von  
25 der Soll-Position verschieden ist, so dass sich die Ist-Position innerhalb eines Toleranzvolumens befindet, dessen Rand um höchstens die Toleranzabweichung von der Soll-Position entfernt ist, und
- das Untersuchungsobjekt mit Hilfe des Koordinatenmeßgerätes so positionierbar ist, dass das Toleranzvolumen vollständig in dem vom  
30 Computer-Tomographen erfaßten Volumen liegt.



8448 / 10.07.2003

- 33 -

29. Vorrichtung nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet,  
dass das Toleranzvolumen eine Kugel, Toleranzkugel, ist, deren Mittelpunkt mit  
der Soll-Positionen zusammenfällt und deren Radius durch den Betrag der  
maximalen Abweichung der Soll-Position von der Ist-Position der Struktur  
5 vorgegeben ist.

30. Vorrichtung nach Anspruch 28 oder 29, dadurch gekennzeichnet,  
dass das Untersuchungsobjekt mit Hilfe des Koordinatenmeßgerätes so  
positionierbar ist, dass das vom Computer-Tomographen erfaßte Volumen  
10 höchstens den x-fachen Rauminhalt der Toleranzkugel bzw. des Toleranz-  
volumens besitzt, wobei x eine vorgebbare Zahl vorzugsweise größer als 1 ist.

31. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 30, dadurch gekennzeichnet,  
dass die relative Lage und Orientierung des CT-Koordinatensystems gegenüber  
15 dem MG-Koordinatensystem vorgegeben sind oder durch Einmessung ermittelbar  
sind.

32. Vorrichtung nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, dass  
(i) mittels des Koordinatenmeßgerätes die Lage der mindestens drei  
20 ausgewählten Punkte des Untersuchungsobjektes (1) bezüglich des MG-  
Koordinatensystems bestimmbar ist,  
(ii) die auf das MG-Koordinatensystem bezogene Soll-Position der Struktur mit  
Hilfe der gemäß (i) erzielten Meßergebnisse berechenbar ist, und  
(iii) die Soll-Position der Struktur vom MG-Koordinatensystem auf das CT-  
25 Koordinatensystem umrechenbar ist, so dass die Lage der Soll-Position im  
CT-Koordinatensystem bestimmbar ist.

33. Vorrichtung nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet,  
dass das Untersuchungsobjekt (1) gegenüber dem Computer-Tomographen unter  
30 Verwendung der gemäß Schritt (iii) erhaltenen, auf das CT-Koordinatensystem  
bezogenen Soll-Position der Struktur mittels einer Vorrichtung (3) so  
steuerbar ist, dass sich das Toleranzvolumen und daher auch die Struktur in dem  
vom Computer-Tomographen erfaßten Volumen befindet.

6448 / 10.07.2003

- 34 -

34. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 33, dadurch gekennzeichnet, dass mit Hilfe des Computer-Tomographen ein dreidimensionales digitales CT-Bild des Toleranzvolumens einschließlich der Struktur erstellbar und als CT-Datensatz speicherbar und die Ist-Position der Struktur im CT-Koordinatensystem aus dem CT-Datensatz bestimmbar ist.

35. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass

- der Computer-Tomograph eine Röntgenquelle (5) und einen zweidimensional ortsauflösenden Detektor (6) aufweist, der eine aktive Detektorfläche besitzt, die für die von der Röntgenquelle (5) abgegebene Röntgenstrahlung empfindlich ist,
- das Bildfeld des Computer-Tomographen durch die Größe der aktiven Detektorfläche gegeben ist,
- die Soll-Position der Struktur in Bezug auf mindestens drei ausgewählte, nicht kollineare Punkte des Untersuchungsobjektes (1) vorgegeben ist und die Ist-Position um höchstens eine Toleranzabweichung von der Soll-Position verschieden ist, so dass sich die Ist-Position innerhalb eines z.B. kugelförmigen Toleranzvolumens befindet, dessen Rand um höchstens die Toleranzabweichung von der Soll-Position entfernt ist, und
- die relative Lage und die relative Orientierung des CT-Koordinatensystems gegenüber dem MG-Koordinatensystem bekannt oder durch Einmessung ermittelbar sind,

wobei

- a) mittels des Koordinatenmeßgerätes die Lage der mindestens drei ausgewählten Punkte des Untersuchungsobjektes (1) bezüglich des MG-Koordinatensystems bestimmbar ist,
- b) hieraus die auf das MG-Koordinatensystem bezogene Soll-Position der Struktur berechenbar ist,
- c) die Soll-Position der Struktur vom MG-Koordinatensystem auf das CT-Koordinatensystem umrechenbar ist, so dass die Lage derselben im CT-Koordinatensystem bestimmbar ist,

6446 / 10.07.2003

- 35 -

- d) die Relativposition des Untersuchungsobjektes (1) bezüglich des Computer-Tomographen unter Verwendung der auf das CT-Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur mittels einer Vorrichtung (3) so steuerbar ist, dass sich das Toleranzvolumen und daher auch die Struktur in demjenigen Volumen befindet, welches der Computer-Tomograph zu erfassen imstande ist, und
- 5 e) der Computer-Tomograph imstande ist, ein dreidimensionales digitales CT-Bild des Toleranzvolumens einschließlich der Struktur zu erstellen und als CT-Datensatz zu speichern,
- 10 so dass die Ist-Position sowie die Form der Struktur im CT-Koordinatensystem aus dem CT-Datensatz bestimmbar sind.
36. Vorrichtung nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, dass das Toleranzvolumen eine Toleranzkugel ist, so dass deren Radius durch die
- 15 Toleranzabweichung und deren Mittelpunkt durch die Soll-Position gegeben ist.
37. Vorrichtung nach Anspruch 35 oder 36, dadurch gekennzeichnet, dass der Computer-Tomograph so steuerbar ist, dass sich das Zentrum des Toleranzvolumens im wesentlichen im Zentrum des von dem Computer-
- 20 Tomographen erfassbaren Volumens befindet.
38. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 35 bis 37, dadurch gekennzeichnet, dass der Computer-Tomograph so steuerbar ist, dass bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenquelle (5) als Projektionszentrum das
- 25 Bildfeld durch die Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor vollständig ausgefüllt ist.
39. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 35 bis 37, dadurch gekennzeichnet, dass der Computer-Tomograph so steuerbar ist, dass bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenquelle (5) als Projektionszentrum
- 30 - der kleinste Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der kleinste Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich groß sind, oder

6448 / 10.07.2003

- 36 -

- der größte Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der größte Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich groß sind, oder
  - der größte Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der kleinste Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich groß sind.
- 5

6448 / 10.07.2003

- 37 -

Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung der Ist-Position  
einer Struktur eines Untersuchungsobjektes

**Zusammenfassung:**

5

Die Erfindung betrifft Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung der Ist-Position einer Struktur eines Untersuchungsobjektes in einem Koordinatensystem. Es werden ein Computer-Tomograph in Anwendung der CT-Technik mit einem auf den Computer-Tomographen bezogenen ersten Koordinatensystem, CT-Koordinatensystem, und ein Koordinatenmeßgerät, welches entweder ein taktiles oder optisches Koordinatenmeßgerät oder ein Multisensor-Koordinatenmeßgerät oder ein Ultraschall-Koordinatenmeßgerät ist, mit einem auf dieses bezogenen zweiten Koordinatensystem, MG-Koordinatensystem, verwendet, wobei gemäß einer Variante

- 15 a) im MG-Koordinatensystem die Koordinaten des Untersuchungsobjekts bestimmt werden,
- b) eine Soll-Position der Struktur innerhalb des Untersuchungsobjektes vorgegeben wird,
- c) die Soll-Position nach Ausführung der Schritte a) und b) im MG-Koordinatensystem bestimmt wird,
- 20 d) und das Untersuchungsobjekt unter Verwendung des Ergebnisses von Schritt c) so positioniert wird, dass die Soll-Position der Struktur innerhalb des vom Computer-Tomographen erfassten Volumens zu liegen kommt.

25